

# 曲線を表現してみる

若松高等学校 石尾 諭一

## 1 はじめに

時間があるとき、携帯でも検索（ネットなど）をしている人が非常に多いと思います。数学的な記事の Web でもひとつの題材に何万、何十万件と載せられています。どこまで、Web が膨張するのか予測がつかない。全部の記事を一つ一つ見ることは出来ないし、そんなことをする暇な人もいないと思います。作者しかみていない Web も非常に多いと思います。またどの Web が大切なのか判断することは困難で、信憑性が問題になることもあります。例えば、曲線の記事だけでも膨大な量の Web があります。確かに、市販のプログラムを買ってきて曲線を描くことはできるでしょう。しかしどのようにして、その曲線は作成されているのか多少疑問を感じて、Web を参考にして、いくつかの曲線に関して、Visual BASIC 上に簡単に表現することができないかと考えました。高等学校の授業では、二次関数の曲線、三角関数の曲線、指数関数の曲線、対数関数の曲線などを学習します。曲線を描く手段として微分法や積分法を用いることもあります。最近では 2 次元平面において、指定された離散的な点を通る滑らかな曲線を近似する補間法としてベジェ曲線とスプライン曲線という曲線が Web 上でよく紹介されています。また自由曲線を描くときには B スプライン曲線がよく使われます。ここではベジェ曲線と B スプライン曲線を公式から、簡単なプログラムにして Visual BASIC 上で作成してみました。

## 2 ベジェ曲線

### (1) 4 点ベジェ曲線

ベジェ (Bezier) とは、この曲線を最初に考案したフランス人の名前です。ベジェ曲線とは、3 もしくは 4 個の点と 1 つの媒介変数方程式で表現される曲線です。また始点と終点および曲率を自由に視覚的に調節でき、2 本の曲線の連結点での接線の方向を容易にあわせることが可能なので、滑らかに曲線を連結することができます。

例えば、既存のコンピュータグラフィックスで、 $\omega$  の形を描きたいと考えたとき、その左半分 (U の形) と右半分 (U の形) の 2 つの部分に分けて、2 本の連結したベジェ曲線を使い作成します。まず、左半分の直線を U の形にするには、直線に 2 箇所の方向性 (曲げる方向は直線の下 2 点で) をつけて、直線を下に引っ張り曲線 (U の形) に曲げます。曲線 (U の形) が 1 個できたので連結点をつけ、パス連結とします。右半分を同じように下に引っ張り、”UU の形 =  $\omega$  の形” を作ります。また  $\omega$  の形にするならばオープンパス (始点と終点が閉じていない)、 $\heartsuit$  (ハート) 型にするならばクローズドパス (始点と終点が閉じている) です。

ここでは基本形の直線を変形させて、4点から制御されるベジェ曲線を作成します。 $Q_0$  から始まり、 $Q_1$ ,  $Q_2$  に制御され  $Q_3$  で終点する曲線です。4点  $Q_0$ ,  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$  を制御点とするベジェ曲線は次の式で生成されます。

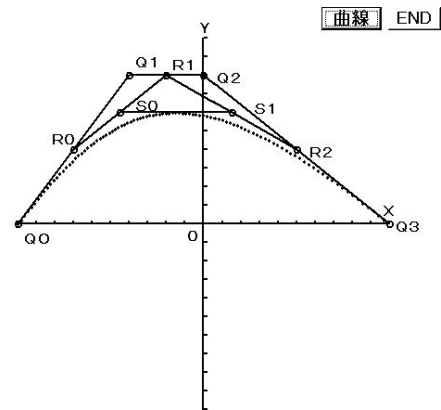
$$R(t) = Q_0 \cdot (1-t)^3 + 3 \cdot Q_1 \cdot t \cdot (1-t)^2 + 3 \cdot Q_2 \cdot t^2 \cdot (1-t) + Q_3 \cdot t^3$$

$Q_0$ ,  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$  は位置ベクトルで、 $t$  は  $0 \leq t \leq 1$  のスカラー（ベクトルでない）。 $t$  を媒介変数とする3次式となっています。 $R(t)$  は、 $x$ ,  $y$  座標ともに活用します。

## (2) 4点ベジェ曲線の例 ( $x$ , $y$ 座標両方とも、 $-10$ 以上 $10$ 以下の数値)

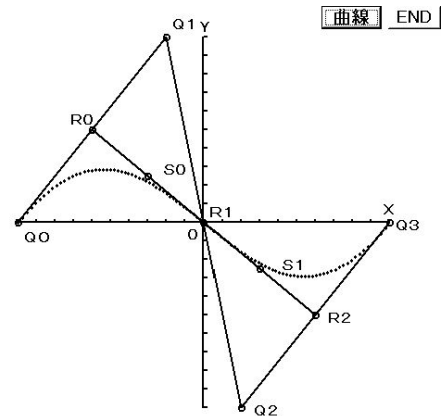
ア 外側の多角形が、制御点  $Q_0$ ,  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$  で内部がベジェ曲線です。ベジェ曲線は点線…の曲線になります。

	X 座標	Y 座標
$Q_0$	-10	0
$Q_1$	-4	8
$Q_2$	0	8
$Q_3$	10	0



イ 点  $Q_1$ ,  $Q_2$  が直線  $Q_0Q_3$  から見て同じ側でない場合

	X 座標	Y 座標
$Q_0$	-10	0
$Q_1$	-2	10
$Q_2$	2	-10
$Q_3$	10	0



## プログラム

```

Private Sub Command1_Click()
    Font.Size = 13
    Font.Bold = True
    CurrentX = 3450; CurrentY = 200: Print "Y"
    CurrentX = 6400; CurrentY = 3150: Print "X"
    CurrentX = 3250; CurrentY = 3550: Print "0"
    A1 = 3500: B1 = 500: C1 = (A1 - B1) / 10: DrawWidth = 2
    Line (A1, B1)-(A1, A1 * 2 - B1): Line (B1, A1)-(A1 * 2 - B1, A1)
    For i = 0 To 20
        Line (A1, B1 + C1 * i)-(A1 + 50, B1 + C1 * i): Line (B1 + C1 * i, A1)-(B1 + C1 * i, A1 - 50)
    Next i
    X0 = Val(座標入力.Text1): Y0 = Val(座標入力.Text7): X00 = X0 * C1 + A1: Y00 = Y0 * (-C1) + A1
    FillStyle = 0
    Circle (X00, Y00), 50, QBColor(0)
    CurrentX = X00 + 100; CurrentY = Y00 + 100: Print "Q 0"
    X1 = Val(座標入力.Text2): Y1 = Val(座標入力.Text8): X11 = X1 * C1 + A1: Y11 = Y1 * (-C1) + A1
    Circle (X11, Y11), 50, QBColor(0)
    CurrentX = X11 + 100; CurrentY = Y11 - 350: Print "Q 1"
    X2 = Val(座標入力.Text3): Y2 = Val(座標入力.Text9): X22 = X2 * C1 + A1: Y22 = Y2 * (-C1) + A1
    Circle (X22, Y22), 50, QBColor(0)
    CurrentX = X22 + 200; CurrentY = Y22 - 100: Print "Q 2"
    X3 = Val(座標入力.Text4): Y3 = Val(座標入力.Text10): X33 = X3 * C1 + A1: Y33 = Y3 * (-C1) + A1
    Circle (X33, Y33), 50, QBColor(0): CurrentX = X33 + 100; CurrentY = Y33 - 100: Print "Q 3"
    Line (X00, Y00)-(X11, Y11): Line (X11, Y11)-(X22, Y22): Line (X22, Y22)-(X33, Y33)
    Line ((X00 + X11) / 2, (Y00 + Y11) / 2)-((X11 + X22) / 2, (Y11 + Y22) / 2)
    Line ((X22 + X11) / 2, (Y22 + Y11) / 2)-((X33 + X22) / 2, (Y33 + Y22) / 2)
    FillStyle = 1
    Circle ((X00 + X11) / 2, (Y00 + Y11) / 2), 50, QBColor(0)
    CurrentX = (X00 + X11) / 2 - 350: CurrentY = (Y00 + Y11) / 2 - 300: Print "R 0"
    Circle ((X22 + X11) / 2, (Y22 + Y11) / 2), 50, QBColor(0)
    CurrentX = (X22 + X11) / 2 + 100: CurrentY = (Y22 + Y11) / 2 - 300: Print "R 1"
    Circle ((X22 + X33) / 2, (Y22 + Y33) / 2), 50, QBColor(0)
    CurrentX = (X22 + X33) / 2 + 200: CurrentY = (Y22 + Y33) / 2 - 100: Print "R 2"
    Line (X00 / 4 + X11 / 2 + X22 / 4, Y00 / 4 + Y11 / 2 + Y22 / 4)-(X11 / 4 + X22 / 2 + X33 / 4, Y11 / 4 + Y22 / 2 + Y33 / 4)
    Circle (X00 / 4 + X11 / 2 + X22 / 4, Y00 / 4 + Y11 / 2 + Y22 / 4), 50, QBColor(0)
    CurrentX = X00 / 4 + X11 / 2 + X22 / 4 + 250: CurrentY = Y00 / 4 + Y11 / 2 + Y22 / 4 - 250: Print "S 0"
    Circle (X11 / 4 + X22 / 2 + X33 / 4, Y11 / 4 + Y22 / 2 + Y33 / 4), 50, QBColor(0)
    CurrentX = X11 / 4 + X22 / 2 + X33 / 4 + 350: CurrentY = Y11 / 4 + Y22 / 2 + Y33 / 4 - 200: Print "S 1"
    For T = 0 To 1 Step 0.01
        DrawWidth = 3
        RX = (1 - T) ^ 3 * X00 + 3 * T * (1 - T) ^ 2 * X11 + 3 * T ^ 2 * (1 - T) * X22 + T ^ 3 * X33
        RY = (1 - T) ^ 3 * Y00 + 3 * T * (1 - T) ^ 2 * Y11 + 3 * T ^ 2 * (1 - T) * Y22 + T ^ 3 * Y33
        PSet (RX, RY)
    Next T
End Sub

```

- A1, B1 は初期値
- C1 は目盛り 1 の VB 座標上の長さ
- X0(Q<sub>0</sub> の X 座標) ~ X3(Q<sub>3</sub> の X 座標), Y0(Q<sub>0</sub> の Y 座標) ~ Y3(Q<sub>3</sub> の Y 座標)
- X00(Q<sub>0</sub> の VB 上の X 座標) ~ X33(Q<sub>3</sub> の VB 上の X 座標),  
Y00(Q<sub>0</sub> の VB 上の Y 座標) ~ Y33(Q<sub>3</sub> の VB 上の Y 座標)
- T は媒介変数  $t(0 \leq t \leq 1)$
- RX はベジエ曲線 VB 上の X 座標, RY はベジエ曲線 VB 上の Y 座標

### (3) ベジエ曲線の性質について

ア 閉包性：ベジエ曲線は，4 点が凸多角形の場合，その中に入ります。

イ 両端で接する：直線 Q<sub>0</sub>Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub>Q<sub>3</sub> は曲線の開始点と終端点で曲線の接線になります。

ウ 幾何学的解釈：線分 Q<sub>0</sub>Q<sub>1</sub>, Q<sub>1</sub>Q<sub>2</sub>, Q<sub>2</sub>Q<sub>3</sub> の中点を R<sub>0</sub>, R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> とする。線分 R<sub>0</sub>R<sub>1</sub>, R<sub>1</sub>R<sub>2</sub> の中点を S<sub>0</sub>, S<sub>1</sub> とすると，線分 S<sub>0</sub>S<sub>1</sub> の中点は  $t = 0.5$  のベジエ曲線の点となります。一般に，各線分を  $m : n$  の比で分割した点はベジエ曲線の点となります。

### 3 スプライン曲線

曲線が連続であるためには、任意の点で曲線を切断したとき、左右の点の座標が同じでなければなりません。左右の線分の傾き（一次微分）が同一であるとき、一次連続といいます。さらに左右の線分の傾きの変化率（二次微分）も等しいとき二次連続といいます。

スプライン曲線は、与えられた点を通り、二次連続を保証する曲線です。まず、与えられた点  $(P_i \text{ と } P_{i+1})$  の間をそれぞれ、 $t$  を媒介変数とする 3 次式で表現します。

$$R_i(t) = A_i \cdot t^3 + B_i \cdot t^2 + C_i \cdot t + D_i$$

この各係数  $A_i, B_i, C_i, D_i$  を以下の条件で求めます。

①  $t = 0$  と  $t = 1$  で与えられた点  $(P_i \text{ と } P_{i+1})$  を通る。②  $t = 0$  と  $t = 1$  で前の曲線と次の曲線の傾き（一次微分係数）が等しい。③  $t = 0$  と  $t = 1$  で傾きの変化率（二次微分係数）が 0。これらの条件は係数に関する連立方程式になりますから、連立方程式を解いて係数を決めることができます。

### 4 B スプライン曲線

#### (1) B スプライン曲線とは

B スプライン曲線の形状決定は、制御点から曲線を定めるイメージとして紹介します。源氏物語の主人公光源氏は成長と共に多くの女性と熱い関係になった方です。成長を時の経過とみなし、周囲の女性と親密度を刻々と表してみせます。物心ついたときは  $P_0$  さん（藤壺）に夢中で他の女性に目もくれませんでした。ところがだんだんと  $P_1$  さん（紫の上）、 $P_2$  さん（朧月夜）への関心が高まり、 $P_0$  さんのことは徐々に忘れていきました。同様に、 $P_3$  さん（六条御息所）、 $P_4$  さん（夕顔）に関心を抱き始めるとともに  $P_1$  さん  $P_2$  さんのことも忘れていきました。そして最後は、 $P_5$  さん（玉鬘）さんに……。時の経過のパラメータを  $t$ 、思いをよせた女性のいる場所を制御点  $P_n$ 、親密度のバランスから源氏の置かれた位置を  $(X, Y)$  とします。源氏の置かれた位置を決めたのは周囲の女性のせいだと考えています。源氏に対する魅力が、時間とともに徐々に高まり、ピークを過ぎてまた徐々に低くなると考えます。この経年変化を表すのが  $N^3(t)$  です。すべての女性（制御点）に与えられています。それぞれの女性の魅力がピークを迎える時期は、制御点並びの順に少しずつずれています。源氏は、周囲の女性すべての魅力に対し、その瞬間にバランスが取れる位置に立っています。そして、源氏の残した軌跡が B スプライン曲線となります。曲線は始点と終点以外の制御点は通りません。

定義  $M$  個の制御点  $P_0, P_1, \dots, P_n$  ( $n = M - 1$ ) が与えられたとき、これらの制御点で作られる 3 次 B スプライン曲線は

$$P(t) = \sum_{j=-2}^{n+2} N^3(t-j)P_j \quad (-1 \leq t \leq n+1)$$

ただし、 $P_0$  と  $P_n$  を必ず通らせるため、 $P_{-2} = P_0, P_{-1} = P_0, P_{n+1} = P_n, P_{n+2} = P_n$  と定義する。2 次元平面の座標値を得る関数は、これを 2 組用意して以下のようになります。

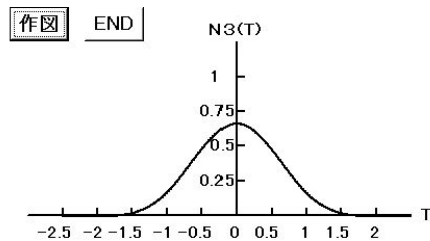
$$X(t) = \sum_{j=-2}^{n+2} N^3(t-j)P_X(j) \quad , \quad Y(t) = \sum_{j=-2}^{n+2} N^3(t-j)P_Y(j) \quad (-1 \leq t \leq n+1)$$

## (2) 重み関数

B スプライン曲線は幾つかの制御点の座標値に重みづけの係数をかけてブレンドします。補間に似た考え方で曲線を得ています。

$$N^3(t) = \begin{cases} (3|t|^3 - 6|t|^2 + 4)/6 & (-1 \leq t \leq 1) \\ -(|t| - 2)^3/6 & (-2 \leq t \leq -1, 1 \leq t \leq 2) \\ 0 & (t \leq -2, 2 \leq t) \end{cases}$$

グラフを描くと以下のような滑らかな曲線となります。

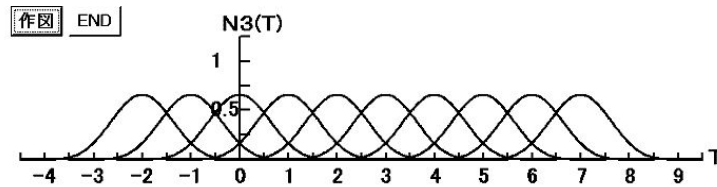


プログラム

```
Private Sub Command1_Click()
Font.Size = 13 : Font.Bold = True : DrawWidth = 2
Line (3500, 500)-(3500, 3000)
Line (500, 3000)-(6000, 3000)
For i = 0 To 9
    Line (1000 + 500 * i, 2900)-(1000 + 500 * i, 3000)
Next i
For i = 0 To 4
    CurrentX = 1300 + 1010 * i : CurrentY = 3100 : Print i - 2
Next i
For i = 0 To 4
    CurrentX = 650 + 1010 * i : CurrentY = 3100 : Print i - 2.5
Next i
CurrentX = 6150 : CurrentY = 2850 : Print "T"
For i = 0 To 3
    Line (3500, 1000 + 500 * i)-(3600, 1000 + 500 * i)
Next i
For i = 0 To 1
    CurrentX = 2900 : CurrentY = 1350 + 1000 * i : Print 0.75 - 0.5 * i
Next i
For i = 0 To 1
    CurrentX = 3050 : CurrentY = 850 + 1000 * i : Print 1 - 0.5 * i
Next i
CurrentX = 3100 : CurrentY = 180 : Print "N 3 (T)"
DrawWidth = 2
For T = -1 To 1 Step 0.01
    X1 = Abs(T) : PSet (3500 + 1000 * T, 3000 - 2000 * ((3 * X1 ^ 3 - 6 * X1 ^ 2 + 4) / 6)), QBColor(0)
Next T
For T = 1 To 2 Step 0.01
    X1 = Abs(T) : X2 = X1 - 2 : PSet (3500 + 1000 * T, 3000 + 2000 * ((X2 ^ 3) / 6)), QBColor(0)
Next T
For T = -2 To -1 Step 0.01
    X1 = Abs(T) : X2 = X1 - 2 : PSet (3500 + 1000 * T, 3000 + 2000 * ((X2 ^ 3) / 6)), QBColor(0)
Next T
For T = 2 To 2.5 Step 0.01
    PSet (3500 + 1000 * T, 3000), QBColor(0)
Next T
For T = -2.5 To -2 Step 0.01
    PSet (3500 + 1000 * T, 3000), QBColor(0)
Next T
End Sub
```

- $X1$  は  $|t|$ ,  $X2$  は  $|t| - 2$
- $-1 \leq t \leq 1$  ( $T = -1$  To  $1$ ) :  $(3|t|^3 - 6|t|^2 + 4)/6$  の VB 上の座標
- $-2 \leq t \leq -1$  ( $T = -2$  To  $-1$ ),  $1 \leq t \leq 2$  ( $T = 1$  To  $2$ ) :  $-(|t| - 2)^3/6$  の VB 上の座標
- $-2.5 \leq t \leq -2$  ( $T = -2.5$  To  $-2$ ),  $2 \leq t \leq 2.5$  ( $T = 2$  To  $2.5$ ) :  $0$  の VB 上の座標

重み関数に与える関数の入力  $t-j$  は、媒介変数と制御点を同じ座標軸で扱うことを意味しています。制御点のある座標軸に整数間隔で並べて、媒介変数はその間の任意の値をとります。次のグラフは、 $t$  を移動させると  $t$  を頂点とした重み関数の山が移動することを示しており、以下のような曲線群となります。



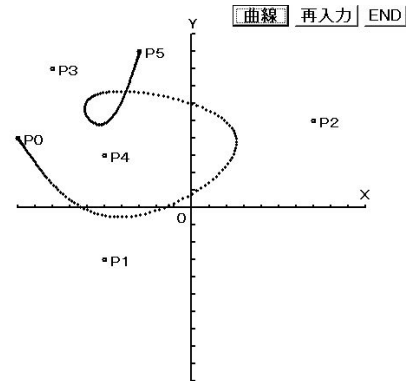
プログラム

```
Private Sub Command1_Click()
    Font.Size = 17: Font.Bold = True: DrawWidth = 2
    Line (400, 2500)-(11600, 2500)
    For i = 0 To 28
        Line (400 + 400 * i, 2400)-(400 + 400 * i, 2500)
    Next i
    For i = 0 To 13
        CurrentX = 600 + 800 * i: CurrentY = 2600: Print i - 4
    Next i
    CurrentX = 11700: CurrentY = 2300: Print "T"
    ' Y軸
    Line (4000, 500)-(4000, 2500)
    For i = 0 To 5
        Line (4000, 500 + 400 * i)-(4150, 500 + 400 * i)
    Next i
    For i = 0 To 1
        CurrentX = 3400: CurrentY = 700 + 800 * i: Print 1 - 0.5 * i
    Next i
    CurrentX = 3700: CurrentY = 100: Print "N 3 (T)"
    DrawWidth = 2
    For S = -2 To 7
        For T = -1 To 1 Step 0.01
            X1 = Abs(T): X2 = X1 - 2: PSet (4000 + 800 * S + 800 * T, 2500 - 1600 * ((3 * X1 ^ 3 - 6 * X1 ^ 2 + 4) / 6)), QBColor(0)
        Next T
        For T = 1 To 2 Step 0.01
            X1 = Abs(T): X2 = X1 - 2: PSet (4000 + 800 * S + 800 * T, 2500 + 1600 * ((X2 ^ 3) / 6)), QBColor(0)
        Next T
        For T = -2 To -1 Step 0.01
            X1 = Abs(T): X2 = X1 - 2: PSet (4000 + 800 * S + 800 * T, 2500 + 1600 * ((X2 ^ 3) / 6)), QBColor(0)
        Next T
        For T = 2 To 2.5 Step 0.01
            PSet (4000 + 800 * S + 800 * T, 2500), QBColor(0)
        Next T
        For T = -2.5 To -2 Step 0.01
            PSet (4000 + 800 * S + 800 * T, 2500), QBColor(0)
        Next T
    Next S
End Sub
```

- $-2 \leq s \leq 7$  ( $S = -2$  To  $7$ ) : 重み関数
- 他の変数は、前のプログラムと同じ

(3) B スプライン関数 (6 点) の例 ( $x, y$  座標両方とも,  $-10$  以上  $10$  以下の数値)

	X 座標	Y 座標
P <sub>0</sub>	-10	4
P <sub>1</sub>	-5	-3
P <sub>2</sub>	7	5
P <sub>3</sub>	-8	8
P <sub>4</sub>	-5	3
P <sub>5</sub>	-3	9



```

プログラム抜粋
Private Sub Command1_Click()
End S Font.Bold = True
CurrentX = 3450: CurrentY = 200: Print "Y"
CurrentX = 6400: CurrentY = 3150: Print "X"
CurrentX = 3250: CurrentY = 3550: Print "0"
DrawWidth = 2
Line (3500, 500)-(3500, 6500)
Line (500, 3500)-(6500, 3500)
For i = 0 To 20
  Line (3500, 500 + 300 * i)-(3550, 500 + 300 * i)
  Line (500 + 300 * i, 3500)-(500 + 300 * i, 3450)
Next i
FillStyle = 0
X0 = Val(座標入力.Text1.Text): Y0 = Val(座標入力.Text7.Text)
X00 = X0 * 300 + 3500
Y00 = Y0 * (-300) + 3500
Circle (X00, Y00), 30, QBColor(0)
CurrentX = X00 + 100: CurrentY = Y00 - 100: Print "P 0"
X1 = Val(座標入力.Text2.Text): Y1 = Val(座標入力.Text8.Text)
X11 = X1 * 300 + 3500
Y11 = Y1 * (-300) + 3500
Circle (X11, Y11), 30, QBColor(0)
CurrentX = X11 + 100: CurrentY = Y11 - 100: Print "P 1"
X2 = Val(座標入力.Text3.Text): Y2 = Val(座標入力.Text9.Text)
X22 = X2 * 300 + 3500
Y22 = Y2 * (-300) + 3500
Circle (X22, Y22), 30, QBColor(0)
CurrentX = X22 + 100: CurrentY = Y22 - 100: Print "P 2"
X3 = Val(座標入力.Text4.Text): Y3 = Val(座標入力.Text10.Text)
X33 = X3 * 300 + 3500
Y33 = Y3 * (-300) + 3500
Circle (X33, Y33), 30, QBColor(0)
CurrentX = X33 + 100: CurrentY = Y33 - 100: Print "P 3"
X4 = Val(座標入力.Text5.Text): Y4 = Val(座標入力.Text11.Text)
X44 = X4 * 300 + 3500
Y44 = Y4 * (-300) + 3500
Circle (X44, Y44), 30, QBColor(0)
CurrentX = X44 + 100: CurrentY = Y44 - 100: Print "P 4"
X5 = Val(座標入力.Text6.Text): Y5 = Val(座標入力.Text12.Text)
X55 = X5 * 300 + 3500
Y55 = Y5 * (-300) + 3500
Circle (X55, Y55), 30, QBColor(0)
CurrentX = X55 + 100: CurrentY = Y55 - 100: Print "P 5"

```

```

プログラム抜粋つづき
For T = -1 To 6 Step 0.03
  For GG = -2 To 7 Step 1
    t2 = Abs(T - GG)
    If -1 < T - GG And T - GG < 1 Then
      NASU = (3 * t2 ^ 3 - 6 * t2 ^ 2 + 4) / 6
    ElseIf T - GG <= -2 Or T - GG >= 2 Then
      NASU = 0
    Else
      NASU = -(t2 - 2) ^ 3 / 6
    End If
    'X(t) の値
    If GG < 1 Then
      BB = X00
    ElseIf GG = 1 Then
      BB = X11
    ElseIf GG = 2 Then
      BB = X22
    ElseIf GG = 3 Then
      BB = X33
    ElseIf GG = 4 Then
      BB = X44
    Else
      BB = X55
    End If
    'y(t) の値
    If GG < 1 Then
      CC = Y00
    ElseIf GG = 1 Then
      CC = Y11
    ElseIf GG = 2 Then
      CC = Y22
    ElseIf GG = 3 Then
      CC = Y33
    ElseIf GG = 4 Then
      CC = Y44
    Else
      CC = Y55
    End If
    XX = NASU * BB + XX
    YY = NASU * CC + YY
  Next GG
  DrawWidth = 3
  PSet (XX, YY)
  XX = 0
  YY = 0
Next T
End Sub

```

- X0(P<sub>0</sub> の X 座標) ~ X5(P<sub>5</sub> の X 座標), Y0(P<sub>0</sub> の Y 座標) ~ Y5(P<sub>5</sub> の Y 座標)
- X00(P<sub>0</sub> の VB 上の X 座標) ~ X55(P<sub>5</sub> の VB 上の X 座標),  
Y00(P<sub>0</sub> の VB 上の Y 座標) ~ Y55(P<sub>5</sub> の VB 上の Y 座標)
- T は媒介変数  $t$  ( $-1 \leq t \leq 6$ ), GG は  $j$  ( $-2 \leq j \leq 7$ ), t2 は  $|t - j|$ , NASU は  $N^3(t - j)$
- BB は X00 ~ X55 の場合分け, CC は Y00 ~ Y55 の場合分け
- XX は B スプライン曲線 VB 上の X 座標, YY は B スプライン曲線 VB 上の Y 座標

## 5 おわりに

コンピュータを「道具」としてグラフ表示することによって、数学に対する興味・関心を高めることができます。また、そのことが数学的な見方や考え方の良さを認識することにつながり、身近な数学を活用する態度を育てることが出来ると思います。

## 6 参考文献 (URL)

ベジェ曲線

(<http://www.ccad.sccs.chukyo-u.ac.jp/manualc/prgrm/ANSI/curve/index62.htm>)

Future B-Spline page

(<http://www1.u-netsurf.ne.jp/~future/HTML/bspline.html>)

ビギナーのための曲面モデリングセミナー

(<http://www.rhino3d.co.jp/seminar/seminar2nd/seminar2nd.html>)

emath コラム

横に並べる番号

`enumerate` 環境の番号付けは、すべて改行してしまう。テストの選択肢のように横並べる番号付けする `edaenumerate` 環境.

- |        |         |        |
|--------|---------|--------|
| (1) 千葉 | (2) 埼玉  | (3) 茨城 |
| (4) 東京 | (5) 神奈川 |        |

```
\begin{edaenumerate}<3>[(1)]
\item 千葉
\item 埼玉
\item 茨城
\item 東京
\item 神奈川
\end{edaenumerate}
```

<3>で1行の番号の数.